

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC



**FAKULTA STROJNÍ**



**KATEDRA STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

# **VÝROBA ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU**

[Bakalářská práce]

2009/2010

JAN HENTZEL



# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie  
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení strojírenské metalurgie

### Výroba odlitků ze slitin hliníku

### Production of casting from aluminium alloys

Jan Hentzel

KSP – SM – B23

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Iva Nová, CSc.

Konzultant bakalářské práce: prof. Ing. Iva Nová, CSc.

#### Rozsah práce a příloh:

Počet stran	50
Počet tabulek	2
Počet obrázků	26
Počet příloh	0

Datum: 28.5.2010

---



## **ZADÁNÍ**

**A N O T A C E****TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**Fakulta strojní****Katedra strojírenské technologie**  
**Oddělení strojírenské metalurgie**

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Jan Hentzel

Téma práce: Výroba odlitků ze slitin hliníku  
Production of casting from aluminium alloys

Číslo BP: KSP – SM – B23

Vedoucí BP: prof. Ing. Iva Nová, CSc. - *TU v Liberci*

Konzultant BP: prof. Ing. Iva Nová, CSc. - *TU v Liberci*

**Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá výrobou odlitků ze slitin hliníku. Úvodní kapitoly jsou věnovány charakteristice a výrobě čistého hliníku a jeho slitin. V následující části této práce se přes popis přípravy materiálu (taveniny) pro následné odlévání dostaneme k jednotlivým metodám samotného odlévání odlitků ze slitin hliníku. V závěru jsou naznačeny možnosti tepelného zpracování pro dosažení požadovaných vlastností výsledného odlitku.

**Abstract:**

The bachelor work deals with the production of alloy aluminium casting. The introductory chapters are about characteristic and production of pure aluminium and his alloys. In the next part of this paper we get via the description of material preparation (meltage) for subsequent casting to the specific methods of casting from aluminium alloys. In final part there are mentioned possibilities of heat treatment that might lead to required properties of final cast.



### **Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 28. května 2010

.....

Jan Hentzel

Česká ul. 171

463 12 Liberec 25



## Poděkování

Předně bych chtěl poděkovat Pavlovi Zsilay a Ing. Karlu Chocholovi z firmy DGS Druckguss Systeme s.r.o., za mnoho cenných konzultací a připomínek, bez kterých by tato práce nevznikla. V neposlední řadě bych také poděkoval vedoucí mé bakalářské práce prof. Ing. Ivě Nové, CSc. za bezpočet rad a odborné vedení.



## O B S A H

1. ÚVOD.....	8
2. CHARAKTERISTIKA HLINÍKU A JEHO SLITIN PRO VÝROBU ODLITKŮ .....	9
2.1 Hliník a výroba hliníku [2].....	9
2.2 Rozdělení slitin hliníku [2] .....	11
2.2.1 Slévárenské slitiny hliníku a jejich vlastnosti [2] .....	13
2.2.2 Příklady druhů slitin hliníku a jejich charakteristika [1] .....	14
2.2.3 Volba vhodné slitiny [1] .....	16
3. TAVENÍ A ODLÉVÁNÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN [1].....	17
3.1 Příprava taveniny a odlévání hliníkových slitin .....	17
3.2 Tavení hliníku a jeho slitin .....	18
3.3 Odplyňování .....	21
3.3.1 Profukování taveniny inertními nebo aktivními plyny .....	21
3.3.2 Zpracování taveniny speciálními přípravky a tavivy .....	22
3.3.3 Výdrž taveniny v atmosféře inertních plynů nebo ve vakuu .....	23
3.3.4 Fyzikální metody odplyňování.....	23
3.4 Rafinace taveniny .....	25
3.5 Očkování a modifikování taveniny .....	26
4. ZPŮSOBY VÝROBY ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU [1] .....	29
4.1 Odlévání do pískových forem.....	29
4.2 Gravitační lití .....	30
4.3 Přesné lití slitin hliníku .....	31
4.4 Tlakové lití .....	32
4.5 Nízkotlaké lití.....	37
4.6 Odstředivé lití.....	38
5. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ SLITIN HLINÍKU .....	39
5.1 Charakteristika tepelného zpracování [1], [2].....	39
5.1.1 Žihání [1].....	39
5.1.2 Vytvrzování [2] .....	40
6. PŘEHLED VYRÁBĚNÝCH ODLITKŮ V ČR .....	42
7. DISKUSE POZNATKŮ .....	44
8. ZÁVĚR .....	47
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	48

## 1. Úvod

Hliník (Aluminium) je dnes kovem, který nás obklopuje v mnoha oblastech techniky. Ne vždy tomu tak však bylo. Rok 1854 byl rokem, kdy se hliník poprvé představil v kovové podobě. Jeho výroba je velmi energeticky náročná a proto se do průmyslové výroby zapojil až na přelomu 19. a 20. století. Právě pro náročnost jeho výroby byl tento kov v prvopočátcích velmi drahý a to tak, že byl dokonce roku 1855 použit jako součást výzdoby královské koruny na Světové výstavě v Paříži. Výrazným zlomem ve výrobě hliníku byla druhá světová válka, která tento materiál začala ve velkém množství využívat ve vojenské technice. Špatná ekonomická situace, která nastala po již zmíněné druhé světové válce, s sebou přinesla značné snížení výroby. Až od poloviny minulého století začala využitelnost a výroby-schopnost tohoto kovu opět stoupat. Tento jev můžeme pozorovat i v současnosti. Dnes se hlavně řeší problém ekologické zátěže, která vzniká při zpracování a výrobě hliníku. I z tohoto hlediska můžeme výrobu hliníku rozdělit na tzv. hliník primární a sekundární. Pokud mluvíme o primárním hliníku, jedná se o takový, který je vyroben přímo z bauxitu. Ovšem díky nutnému řešení ekologické otázky rok od roku roste výroba hliníku sekundárního, kde se jedná o materiál získaný recyklací. V současnosti tento materiál využíváme např. ve strojírenství, dopravě, stavebnictví, potravinářství atd.

Úkolem mé bakalářské práce je pohovořit o hliníku a především o výrobě odlitků ze slitin tohoto materiálu.



## 2. Charakteristika hliníku a jeho slitin pro výrobu odlitků

### 2.1 Hliník a výroba hliníku [2]

Čistý hliník (Aluminium) je kov, který se řadí do skupiny neželezných kovů, vyznačuje se velmi malou hustotou a je stříbrolesklé barvy. Mezi jeho přední vlastnosti patří velmi dobrá tepelná i elektrická vodivost. Pro poměrně špatnou následnou obrobitelnost čistého hliníku při výrobě odlitků se hodí spíše pro tváření, a to jak za tepla, tak za studena. To je díky dobrým plastickým vlastnostem, které jsou důsledkem kubické plošně středěné mřížky, ve které hliník krystaluje. Další fyzikální vlastnosti hliníku viz tab. 2.1. Je to materiál, který dobře odolává povětrnostním a některým chemickým vlivům. Z hlediska nízké pevnosti a meze průtažnosti nemůžeme využít čistý hliník a jeho dobré vlastnosti (především jeho nízkou hmotnost) jako materiál konstrukční ve větším měřítku.

Tabulka 2.1 Přehled vybraných vlastností hliníku [1]

Vlastnosti	Hodnoty
Krystalická mřížka	K2
Parametr mřížky	$a = 0.404958 \text{ nm}$
Hustota	$2700 \text{ kg.m}^{-3} \text{ g.cm}^{-3} \text{ (př. } 20^\circ \text{C)}$
Teplota tavení	$660.4^\circ \text{C}$
Teplota varu	$2494^\circ \text{C}$
Tepelná vodivost	$247 \text{ W.m}^{-1} \text{ (př. } 25^\circ \text{C)}$
Elektrická vodivost	$62 \% \text{ IACS (Al 99.8)}$ $65 - 66 \% \text{ IACS (Al 99.999+)}$
Latentní teplo tavení	$397 \text{ kJ.kg}^{-1}$
Latentní teplo varu	$10.78 \text{ MJ.kg}^{-1}$
Atomová hmotnost	26.98154
Objemová změna při krystalizaci	6.5 %
Měrná tepelná kapacita	$0.900 \text{ kJ/kg.K (př. } 25^\circ \text{C)}$ $1.18 \text{ kJ/kg.K (př. } 660.4^\circ \text{C)}$
Spalné teplo	$31.05 \text{ MJ/kg}$
Elektrický odpor	$26.2 \text{ n}\Omega.\text{m (Al 99.999+ př. } 20^\circ \text{C)}$ $26.55 \text{ n}\Omega.\text{m (Al 99.8 př. } 20^\circ \text{C)}$
Teplota supravodivosti	1.2 K
Účinný průřez pro neutrony	0.2b/atom pro energii neutronu 0.02 V 0.65 b/atom pro energii neutronu 100



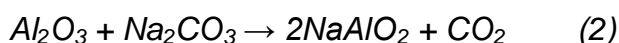
**Výroba hliníku** - hliník se získává několika způsoby z kovových rud. Podle [1] se hliník nachází v přírodě přibližně asi v 250 různých minerálech - viz tab. 2.2. Nejvýznamnější ekonomicky využitelnou rudou pro výrobu hliníku je bauxit. V závislosti na bohatosti se jedna tuna hliníku získává ze čtyř až šesti tun bauxitu.

Tabulka 2.2 Přehled běžných minerálů hliníku [1]

Minerál	Chemický vzorec	Hmot. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Korund	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100
Diaspor, Boehmit	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	85
Gibbsit (hydrargilit)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .3 H <sub>2</sub> O	65.4
Spinel	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .MgO	71
Kyanit, Andaluzit, Silimanit	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .SiO <sub>2</sub>	63
Kaolinit	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .2SiO <sub>2</sub> .2 H <sub>2</sub> O	39.5
Alunit	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .4Al(OH) <sub>3</sub>	37
Nefelín	(Na,K) <sub>2</sub> O. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .2SiO <sub>2</sub>	32.3-35.9
Leucit	K <sub>2</sub> O. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .4SiO <sub>2</sub>	23.5
Deficit	K <sub>2</sub> O.3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .6SiO <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	38.4

V současnosti se světová výrobní kapacita bauxitu odhaduje na 130 miliónů tun za rok. Z tohoto množství se 123 tun použije na výrobu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metalurgické jakosti a sedm miliónů tun pro speciální účely.

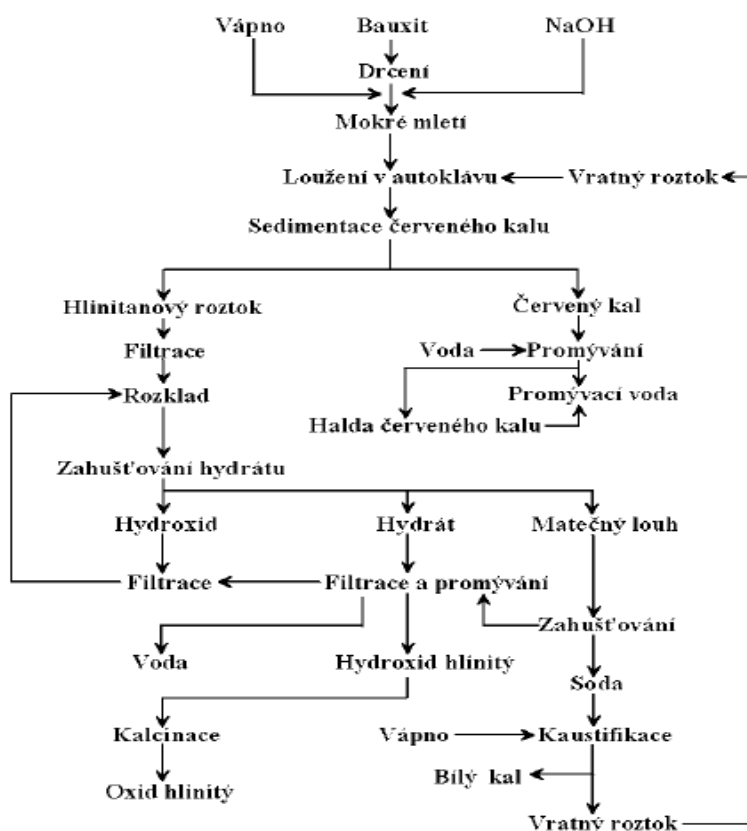
Z několika možností získávání oxidu hlinitého se v praxi využívají jen některé. K dispozici máme metody jak zásadité, tak i kyselé, ale také elektrochemické. Přičemž se převážně využívají metody zásadité. Touto cestou se podle [2] působením alkálií (NaOH, resp. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) na rudu bauxitu váže oxid hlinitý na hlinitan sodný podle rovnic (1) a (2).



Zmíněný přechod oxidu hlinitého na hlinitan sodný může probíhat několika způsoby. V zásadě je možná cesta tzv. Mokrý, nazývaná Bayerova metoda či cesta tzv. Suchá, nazývaná Müller-Jarkovinova metoda, anebo

pomocí tavení a to cestou Kuzněcovo – Žukovskou.

Jak uvádí [1], tak nejpoužívanější metodou při výrobě oxidu hlinitého je již zmíněný zásaditý způsob mokrou cestou, neboli Bayerova metoda a to pomocí roztoku hydroxidu sodného. Celá tato metoda je uzavřený cyklus, který je výsledkem chemické reakce – viz obr.2.1



Obr. 2.1 Bayerova metoda výroby hliníku [1]

## 2.2 Rozdělení slitin hliníku [2]

Přísadou různých prvků se dají vyrobit slitiny hliníku, které mají vhodné vlastnosti pro různé způsoby použití. Jak již bylo zmíněno, tak slitiny hliníku mají obecně nízkou hustotu, dobré mechanické vlastnosti, jsou dobře tvárné za tepla i za studena, některé z nich jsou dobře slévateľné a některé se dají zlepšit tepelným zpracováním. Mnoho typů hliníkových slitin odolává dobře korozi, všechny jsou nemagnetické a jsou dobře elektricky i tepelně vodivé. Hliníkových slitin se vyrábí značné množství a mají mnohem větší technickou důležitost z hlediska namáhaných konstrukcí než čistý hliník. Jednotlivé slitiny můžeme rozdělit podle různých hledisek.

**a) podle chemického složení**

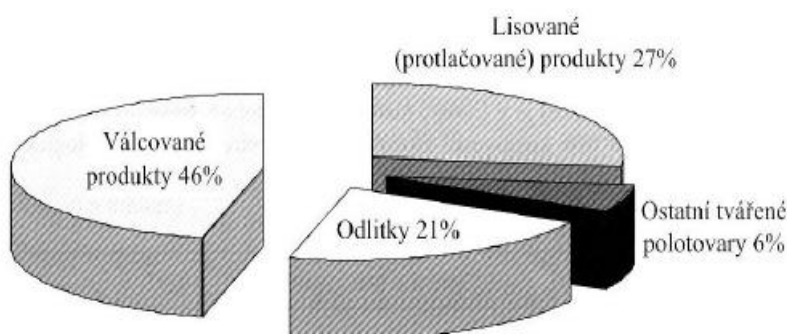
Hliník se leguje nejčastěji mědí, zinkem, křemíkem a hořčíkem. V menším množství se přidávají mangan, nikl a jiné prvky. Mezi nejdůležitější skupiny slitin hliníku patří např. Al – Si, Al – Cu – Mg.

**b) podle způsobu zpracování slitiny**

Slitiny hliníku dělíme podle způsobu zpracování na slitiny k tváření a slitiny k odlévání (viz obr. 2.3).

U slitiny k tváření přísadové prvky nedosahují eutektických obsahů. Tvoří s hliníkem tuhé roztoky nebo také různé mezikovové sloučeniny, jež se v litém stavu vyskytují podél hranic zrn tuhých roztoků. Většinou jsou tyto slitiny dobře tváritelné za tepla i za studena.

Slitiny k odlévání se vyznačují vyšším obsahem přísadových prvků, takže vznikají až eutektické nebo nadeutektické slitiny. Rozsáhlý výskyt mezikovových sloučenin zhoršuje tváritelnost těchto slitin.



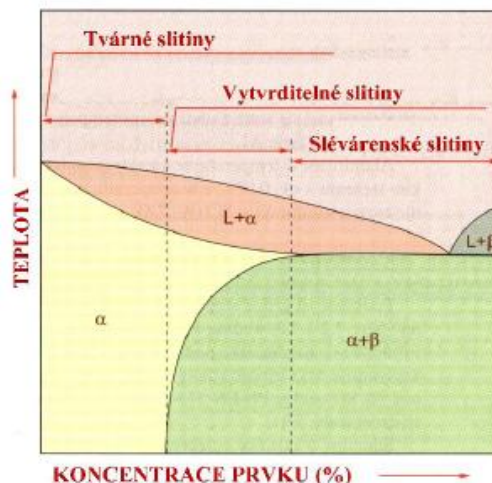
Obr. 2.2 Podíl jednotlivých technologií na spotřebě hliníku v Evropě [5]

**c) podle schopnosti k tepelnému zpracování**

Hliník a některé jeho slitiny se mohou zpracovat tepelně jen žíháním, kterým se upravuje struktura, ale pevnost se nezvyšuje. Přísadou a vhodnou kombinací některých prvků se však dají vyrobit slitiny, které jsou schopny tzv. vytvrzování, jímž se podstatně zlepšují mechanické vlastnosti slitiny. K vytvrzování se hodí hlavně slitiny hliníku s mědí, hořčíkem, zinkem, křemíkem a niklem. Podle toho tedy můžeme slitiny dále rozdělit na vytvrditelné a nevytvrditelné.

#### d) podle odolnosti vůči chemickým vlivům

Odolnost čistého hliníku se legováním značně mění, a to v kladném nebo záporném smyslu. Přísadou některých prvků se dají vyrobit slitiny se zvýšenou odolností proti určitým chemickým vlivům a naopak. Proto můžeme provést rozdělení na slitiny s menší a větší odolností proti chemickým vlivům.



Obrázek 2.3 Rozdělení hliníkových slitin [3]

#### 2.2.1 Slévárenské slitiny hliníku a jejich vlastnosti [2]

Při výrobě odlitků využíváme tzv. slévárenské slitiny, které vykazují specifické vlastnosti. Tyto vlastnosti nazýváme souhrnně slévárenskými. Do této skupiny patří např. slévateľnost, odolnost vůči vzniku trhlin za tepla, malý interval krystalizace. Je nutno uvést, že slévateľnost je především ovlivněná teplotním intervalem krystalizace, viskozitou a povrchovým napětím taveniny. Odolnost vůči vzniku trhlin za tepla je všeobecně tím nižší, čím má slitina větší interval krystalizace a nižší pevnostní vlastnosti za vyšších teplot. Dále dobrá zabíhavost, malé smršťování, malý sklon k lámavosti během tuhnutí, malý sklon ke vzniku pnutí a trhlin během ochlazování po tuhnutí a také těsnost, která je vyžadována i po třískovém obrábění.

Zmíněná zabíhavost, neboli tekutost, slitiny je její schopnost vyplňovat dokonale formu. Tato vlastnost slitin se zkouší několika metodami, z nichž se používá nejčastěji odlévání taveniny do kokily, v níž je vytvořena dutina v podobě spirály. Měřítkem hledané zabíhavosti je délka odlité spirály. Dále je možno použít zkoušku labirintovou či klínovou. Má-li však být dosaženo

srovnatelných výsledků je nutno dodržet stejné podmínky lití, tj. Teplota taveniny, teplota a jakost povrchu kokily atd.

Další uvedenou slévárenskou vlastností je objemové smrštění, což je zmenšení objemu i rozměrů ztuhlého kovu nebo slitiny proti objemu taveniny. Aby měl odlitek žádané rozměry, musí se použít modelu většího o míru smrštění.

Protože tuhnoucí kov zaujímá menší objem, než je objem formy původně vyplněný taveninou, tvoří se v tuhnoucí hmotě slitiny dutiny, tzv. staženiny. Ty mohou vznikat na povrchu, ale také uvnitř odlitku.

Podle [1] mají slévárenské slitiny hliníku vůči slévárenským slitinám z jiných kovů řadu výhod. V první řadě mají dobrou slévatelnost, která se výrazně zlepšuje se zvyšujícím se podílem příslušného eutektika podle chemického složení.

Dalšími dobrými vlastnostmi, které využijeme při odlévání hliníku jsou nízká teplota tavení, malý interval krystalizace, dobrá chemická stabilita (odolnost vůči korozi), dobré povrchové vlastnosti odlitku a také obsah vodíku v odlitku, který je jediným rozpustným plynem v hliníku a ten lze minimalizovat vhodnými technologickými podmínkami. U většiny těchto slitin je i nízká náchylnost k tvorbě trhlin za tepla.

### 2.2.2 Příklady druhů slitin hliníku a jejich charakteristika [1]

**A) Slitiny typu Al – Si** patří mezi nejrozšířenější slitiny tzv. siluminy, což jsou slitiny hliníku a křemíku. Jsou aplikovány při požadavku na dobrou slévatelnost a odolnost vůči korozi.

Obsah Si se u těchto slitin pohybuje většinou mezi 5 až 13 %. Podle obsahu křemíku jsou rozdělovány na podeutektické (pod 12 % Si), eutektické (kolem 12 % Si) a nadeutektické (nad 12 % Si). V případě nelegování Mg je možnost tepelného zpracování těchto slitin a nejsou legovány mědí. Např. :SN 42 4330 - slitina AlSi12Mn (11. – 13 % Si, 0.1 – 0.4 % Mn).

**B) Slitiny typu Al – Cu**, kde obsah Cu je obvykle v rozmezí 4 – 5 %. Tepelným zpracováním lze zvýšit jejich pevnostní vlastnosti vůči litému stavu. Vyrábějí se také slitiny s obsahem 9 – 11 % Cu, vyznačující se dobrými pevnostními vlastnostmi za vyšších teplot a také odolností vůči

otěru. Velmi dobrých pevnostních vlastností za vyšších teplot lze docílit přidáním Ni a Mg. Nevýhodou těchto slitin je horší slévatelnost a nízká korozní odolnost. Příkladem této skupiny může být slitina SN 42 4315, slitina  $\text{AlCu}_4\text{Ni}_2\text{Mg}_2$  (3.75 – 4.5 % Cu, 1.75 – 2.25 % Ni, 1.25 – 1.75 % Mg).

**C) Slitiny typu Al – Si – Cu** jsou značně používané slitiny, u kterých se legováním Si, vůči předešlému typu slitin, zlepšily slévárenské vlastnosti. U těchto slitin je buď v převaze Cu, nebo Si. Slitiny s obsahem Cu nad 3 % jsou tepelně zpracovatelné, resp. vytvrditelné. Dříve bylo obvyklé, že se většinou tepelně zpracovávají jen slitiny, které jsou legovány Mg. Slitiny s vysokým obsahem Si (nad 10 %) jsou aplikované tam, kde se vyžaduje nízký koeficient teplotní roztažnosti. Vysokou odolnost vůči otěru vykazují slitiny, kde obsah Si může dosáhnout až 22 %, např.: ČSN 42 4339 - slitina  $\text{AlSi}_8\text{Cu}_2\text{Mn}$  (7.5 – 9.5 % Si, 2 – 3 % Cu, 0.3 – 0.5 % Mn). V poslední době v automobilovém průmyslu má značný význam slitina  $\text{AlSi}_9\text{Cu}_3$ , která se používá např. v ŠKODA Auto pro tlakové lití při výrobě bloků motorů nebo je hojně používána i v jiných slévárnách, též při výrobě dílů pro automobilový průmysl. Takto vyrobené odlitky z této slitiny jsou po tlakovém lití ochlazovány ve vodě, čímž se stabilizují jejich rozměry. Současně tyto slitiny jsou tzv. samo vytvrditelné, to znamená, že po ochlazení ve vodě vzniká přesycený tuhý roztok. Tuhý roztok hliníku je přesycen o vytvrditelnou fázi  $\text{AlCu}_2$ . Po určité době dochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku a ve struktuře krystalu  $\alpha$  bohatých na hliník se vylučuje fáze  $\text{AlCu}_2$ . Tím se zvyšují pevnostní hodnoty takto vyrobených odlitků.

**D) Slitiny typu Al – Mg** mají velmi dobrou odolnost vůči korozi především v mořské vodě. Nejlepší odolnost vůči korozi vykazují slitiny vyrobené z vysokočistých surovin. Jsou svařovatelné a mají také dobrou mechanickou obrobitelnost. Při aplikaci v architektuře lze u odlitku realizovat eloxování. Nevýhodou těchto slitin je špatná slévatelnost a náchylnost hořčíku k oxidaci v procesu tavení. Představiteli těchto slitin u nás jsou například SN 42 4515 - slitina  $\text{AlMg}_5\text{Si}_1\text{Mn}$  (4.40 – 5.50 % Mg, 0.60 – 1.50 % Si, 0.25 – 0.6 % Mn).

**E) Slitiny typu Al – Zn – Mg** jsou typické pro dobré pevnostní vlastnosti již v litém stavu, dobrá odolnost vůči korozi (ne za napětí). V případě tepelného zpracování není nutné drastické ochlazování z kalící teploty (v porovnání se slitinami typu Al – Cu) a maximálních pevnostních vlastností lze dosáhnout po 20 až 30 dnech přirozeným stárnutím. Slévatelnost slitin tohoto typu je špatná a mají také náchylnost k tvorbě trhlin za tepla. Jako zástupce najdeme v EN slitinu AC AlZn5Mg (4.50 – 6.00 % Zn, 0.40 – 0.70 % Mg).

**F) Slitiny typu Al – Sn** jsou slitiny s obsahem cca 6 % Sn a malým množstvím Cu a Ni (s cílem zvýšení pevnostních vlastností) speciálně určenými pro výrobu kluzných ložisek. Ze slévárenského hlediska je hlavním problémem velký interval krystalizace a možnost segregace Sn. V SN není k dispozici zástupce tohoto typu slitin. V amerických normách najdeme slitinu s označením AA850.0 – 6.5Sn-1Cu-1Ni.

### 2.2.3 Volba vhodné slitiny [1]

Volbu vhodné slitiny pro vyhotovení odlitku požadovaného tvaru a rozměru můžeme shrnout do pěti faktorů.

- 1. Slévárenské vlastnosti:** slévatelnost, odolnost vůči vzniku trhlin za tepla, malý interval krystalizace, dobré vlastnosti pro tlakové lití.
- 2. Požadované mechanické vlastnosti:** pevnostní a plastické vlastnosti, tvrdost, možnost zvýšení pevnostních vlastností tepelným zpracováním.
- 3. Chemické vlastnosti:** odolnost vůči korozi, možnost povrchové úpravy – eloxování. U hliníkových slitin je odolnost vůči korozi výrazně zhoršována přítomností Cu.
- 4. Vlastnosti hotových výrobků:** nepropustnost kapalin v odlitku působením tlaku, rozměrová a teplotní stabilita.
- 5. Ekonomické faktory:** náklady na mechanické obrábění, tavení a lití, tepelné zpracování, svařitelnost.



### 3. TAVENÍ A ODLÉVÁNÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN

#### 3.1 Příprava taveniny a odlévání hliníkových slitin [1]

Při jakémkoliv zpracování a použití hliníku a jeho slitin je nutno vycházet z vlastností hliníku a vlastností jeho slitin. V nejobecnějším pojetí jde o soubor vlastností fyzikálních, chemických a mechanických, které byly popsány v kapitolách 2.2.1 a 2.2.2. Přesto je nutno na začátku poznamenat, že při kterémkoliv technologickém zpracování hliníku a jeho slitin mohou být tyto kovové materiály v tuhém nebo kapalném skupenství. Již výchozí surový hliník z prvovýroby je ve stavu kapalném a v dalším technologickém zpracování může být použit jako čistý kov o požadované čistotě nebo z něj mohou být připraveny slitiny o požadovaném chemickém složení určené pro další technologické zpracování odléváním nebo tvářením.

Výchozím stavem pro výrobu odlitků odléváním je kapalné skupenství. Hliník jako čistý kov získáváme po provedení všech operací, které souvisí s jeho prvovýrobní elektrolýzou, v kapalném skupenství jako taveninu, nebo jako taveninu získanou přetavením odpadů čistého hliníku z průmyslových odpadů. Slitiny se vyrábějí buď legováním primárního hliníku z prvovýroby předepsanými prvky, nebo dolegováním tavenin získaných přetavením vratných odpadů, tak jak bylo naznačeno v kapitole 2.1. Taktéž již byla zmíněna velká energetická náročnost výroby hliníku, proto je výhodné blízké spojení slévárny s výrobní kapacitou. I přesto jsou celosvětově známy případy převážení roztaveného hliníku do zpracovatelských podniků ze sléváren nákladními automobily se speciálními tepelně izolovanými nádobami (pánvemi). Podstatně častější je však odlévání tzv. housek na speciálním zařízení – licím stroji, což je nekonečný pás tvořený otevřenými kovovými formami. Housky slitin hliníku jsou výchozím materiálem při přípravě slitin k odlévání odlitků i pro přípravu polotovarů pro tvářením. V současné době používané tvary housek zachycuje obr. 3.1.



a)



b)

- a) - housky slitin hliníku  
b) - housky používané ve slévárně DGS

Obr. 3.1 Typy tvarů housek slitin hliníku [4]

### 3.2 Tavení hliníku a jeho slitin [1]

Čistý hliník patří mezi kovy se střední výškou teploty tání. Všeobecně se uvádí teplota tání  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Základem pro tvorbu slitin jsou příslušné binární rovnovážné diagramy. Zpravidla s rostoucím podílem hlavního legujícího prvku v hliníku klesá teplota likvidu jednotlivých slitin. Existují však i případy opačné, kdy teplota likvidu se vzrůstajícím obsahem legujícího prvku stoupá (titan, zirkonium). Abychom dosáhli potřebnou teplotu roztavené slitiny, musíme kovové materiály převést z tuhého skupenství ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) do skupenství kapalného a dosáhnout teploty přehřátí, což je nejvyšší teplota taveniny, dosažená v průběhu tavení kovů a slitin. Za maximální teplotu přehřátí se považuje (kromě některých výjimečných případů) teplota  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tavení kovů a slitin se provádí v tavicích pecích (tavicích agregátech) s dostatečným příkonem tak, aby tavba byla časově co nejkratší, tavení probíhalo velmi intenzivně a přehřátí taveniny bylo minimální. Ve slévárnách tavící slitiny hliníku zřejmě nejčastěji uvidíme pece plynové, viz obr. 3.2. Teplota přehřátí však musí bezpečně zajistit s ohledem na ztráty tepla provedení všech metalurgických pochodů, které zajistí její vysoké metalurgické kvality, a v konečné fázi musí být dosaženo optimální lící teploty.



Obr. 3.2 Plynová šachtová pec Strikowestofen MH 2-T [4]

Výška licí teploty závisí vždy na typu slitiny, jejím chemickém složení, na konstrukci odlitku, zejména celkových rozměrech, složitosti tvaru odlitku a tloušťce stěn. V neposlední řadě se uplatňuje také ochlazovací účinek materiálu formy a jader a způsob odlévání. Vysoké teploty přehřátí vedou ke zvýšenému stupni naplynění taveniny, k nadměrnému vzniku oxidů, ke zvětšení velikosti zrna v odlévaných útvarech a také, což je podstatné, ke zvýšené spotřebě energie. S ohledem na zajištění dokonalého zaplnění dutiny formy se obvykle volí výška licí teploty vyšší tak, aby tento požadavek byl splněn s dostatečnou provozní jistotou. Je možno uvést, že pásmo licích teplot je voleno 50 až 100 °C nad teplotou tání čistého kovu nebo ve stejném rozmezí nad teplotou likvidu odlévané slitiny. V průběhu tavení kovů a slitin dochází v tavicích agregátech k řadě fyzikálně chemických pochodů. Jestliže si provedeme analýzu celé metalurgické přípravy, lze konstatovat, že vsázka může být v tuhém nebo kapalném skupenství. V pecních agregátech se při vzájemném působení vsázka dostává do styku s tuhými materiály (vyzdívky pecí, materiály kelímků), s materiály ve skupenství kapalném (již roztavená slitina, krycí a jiná taviva v kapalném skupenství) a s plyným prostředím v pracovním prostoru tavicí pece.

Nejdůležitějšími pochody při tavení kovů a slitin jsou pochody oxidace, desoxidace, naplynění, odplynění, vypařování komponentů vsázky a v konečné fázi přípravy slitin k odlévání také legováním taveniny na požadované chemické složení vhodnými kovy, feroslitinami nebo předslitinami. Patří sem i očkování, modifikace a rafinace jako konečné operace zajišťující vysokou metalurgickou kvalitu připravovaných kovových materiálů.

Při výrobě hliníkových slitin ve slévárnách jsou hlavními složkami vsázky čisté kovy (hliník, křemík, měď, hořčík, zinek), předslitiny, které se používají na dodatečné legování ve slévárnách nebo na očkování a modifikaci (Al-Ti, Al-Mn, Al-Cr, AlCo a jiné), taviva (soli), které se používají na dodatečné legování některými prvky ( $\text{KBF}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{TiF}_6$ ,  $\text{Na}_2\text{ZrF}_6$  a jiné) nebo na úpravu struktury, vlastní vratný odpad (vtokové soustavy, nálitky, vadné odlitky, rozstříky).

Při tavení se dodržuje následující pořadí: čistý hliník nebo housky slitiny, vratný odpad větších rozměrů, přetavovaný vratný materiál, předslitiny, čisté kovy. Při tavení jsou možné dva postupy: buď se celá vsázka pro jednu tavbu připraví do kelímku a začíná se tavit studená vsázka, nebo se z nístějové nebo bubnové pece tavenina kontinuálně odebírá a současně se dodává do pece další kovový materiál. Volba jednoho nebo druhého způsobu postupu tavení závisí na charakteru výroby příslušné slévárny.

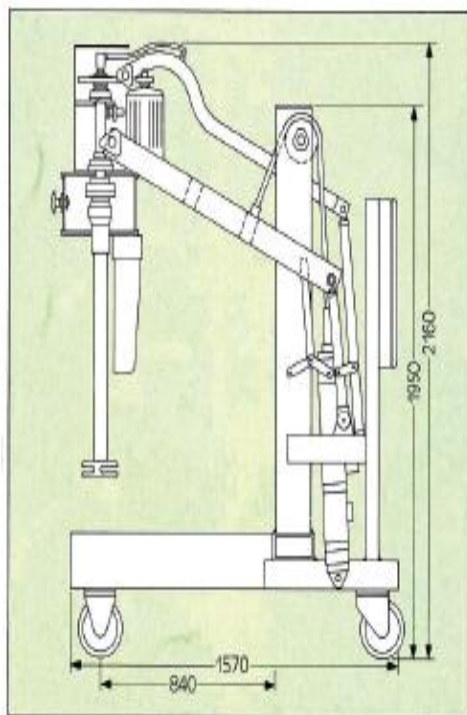
Celá tavba má probíhat velmi intenzivně, v nejkratší době a s nezbytně nutnou teplotou přehřátí tak, aby byly zvládnuty metalurgické operace odplynování, očkování, modifikace a zajištěna požadovaná lící teplota předepsaná pro odlévání odlitků. Je pochopitelné, že odplynování, očkování a modifikace jsou pochody, u nichž dochází k poklesu teploty taveniny. Teplota přehřátí tavených slitin hliníku by v žádném případě neměla překročit  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vyšší teploty přehřátí se volí v případě přípravy předslitin čistého hliníku s některými vysokotavitelnými kovy (Al-Mn, Al-Ni, Al-Ti, Al-Zr).

### 3.3 Odplyňování [1]

Jak již bylo zmíněno, je potřeba s ohledem na nepřípustnost existence dutin v odlitcích zajistit snížení obsahu plynů v tavenině. Pochod záměrného snížení obsahu plynu v tavenině je známý jako odplyňování taveniny. Způsoby snižování obsahu plynů v kovech jsou založeny na rozdílu tlaku plynu v tavenině a v odplyňujícím prostředí nebo na změně rozpustnosti plynu s klesající teplotou. Způsobů odplyňování je celá řada, v současné době se používají zejména tyto způsoby:

#### 3.3.1 Profukování taveniny inertními nebo aktivními plyny

Tato metoda je založena na fyzikálně-chemickém principu vzniku koncentračního spádu mezi obsahem plynu (převážně vodíku) v tavenině a jeho nulovým parciálním tlakem v objemu bubliny vnášeného inertního nebo aktivního plynu. Na základě této skutečnosti atomy, ionty nebo molekuly plynu difundují z taveniny do vnášených bublin a na základě rozdílné hustoty plynové bubliny a taveniny jsou vynášeny na povrch taveniny do atmosféry. Jako typicky inertní plyn se používá nejčastěji argon. Používané plyny nesmí obsahovat jako nečistoty vodu a kyslík. Nejnovější a také nejčastěji používaný způsob odplyňování využívá k získání vysoké efektivity odplyňování zařízení známé pod názvem „Foundry Degassing Unit“ (FDU). Zařízení umožňuje vhánění inertního plynu nebo směsi více plynů do spodní části objemu taveniny v pánvi nebo kelímku přes otáčející se rotor, takže k dokonalému rozptýlení bublin plynu se využívá odstředivá síla. Názorně je toto zařízení zachyceno na obr. 3.3. Tzv. FDU se dnes vyrábí v různých konstrukčních variantách a představuje investičně i technicky optimální řešení odplyňování roztavených kovů a slitin.



a)



b)

a) Odplyňovací zařízení Foundry Degassing Unit (FDU)

b) Odplyňovací zařízení ve slévárně DGS

Obr. 3.3 Odplyňovací zařízení [4]

### 3.3.2 Zpracování taveniny speciálními přípravky a tavivy

Tento způsob je rovněž velmi rozšířený, protože tyto prostředky se používají pro krytí taveniny v průběhu tavení, ale také se kromě odplyňování používají k provedení metalurgických pochodů očkování a modifikace. Krycí taviva se používají v případech, kdy oxidy při tavení nejsou schopny vytvořit souvislou kompaktní vrstvu na hladině taveniny, která by výrazně omezila další průběh a kinetiku oxidace. Pojem očkování (grain refinement, kornfeinung) označujeme metalurgický pochod vnášení vynucených zárodků krystalizace, jehož důsledkem je zmenšení zrna nebo částic tuhého roztoku u slitin. Modifikace (modification, veredelung) je způsob ovlivňování růstu a morfologie zpravidla eutektických nebo peritektických složek. Používané prostředky se u jednotlivých typů slitin liší, rozdílný je i způsob provedení těchto metalurgických pochodů jak u slitin železa, tak u slitin neželezných



kovů. Pro odplyňování se zpravidla používají přípravky ve formě lisovaných tablet různých velikostí, jejichž základem jsou chemické sloučeniny uvolňující při ponoření tzv. ponorným zvonek chlor nebo dusík.

### 3.3.3 Výdrž taveniny v atmosféře inertních plynů nebo ve vakuu

Je metoda snížení obsahu plynu na principu rozdílného tlaku plynu v tavenině a parciálního nebo celkového tlaku nad taveninou. Efekt odplyňování je tím větší, čím nižší je hodnota tlaku nad taveninou a čím déle celý proces probíhá. Pro realizaci metody je nutné mít k dispozici investičně náročné zařízení, do kterého se umístí pánev nebo kelímek s natavenou slitinou. Použití inertních plynů nemění termodynamické podmínky celého pochodu, snížení tlaku nad taveninou vede ke změnám hodnot bodu tání, varu a podmínek potencionálního vypařování par.

### 3.3.4 Fyzikální metody odplyňování

Tyto metody jsou založeny na čistě fyzikálních principech. Vibracemi nebo vnášením ultrazvukového vlnění do taveniny dochází ke vzniku mikroskopických dutin s vysokým stupněm vakua, do kterých se vylučuje rozpuštěný plyn, postupně se v těchto dutinách hromadí a případně asociuje na molekuly a potencionálně vytváří bubliny, které se dostávají do okolní atmosféry. Metody však vyžadují příslušná potřebná zařízení jak mechanická, tak elektronická. Je publikována i metoda snižování obsahu plynu stejnosměrným elektrickým proudem, zejména pro snížení obsahu vodíku.

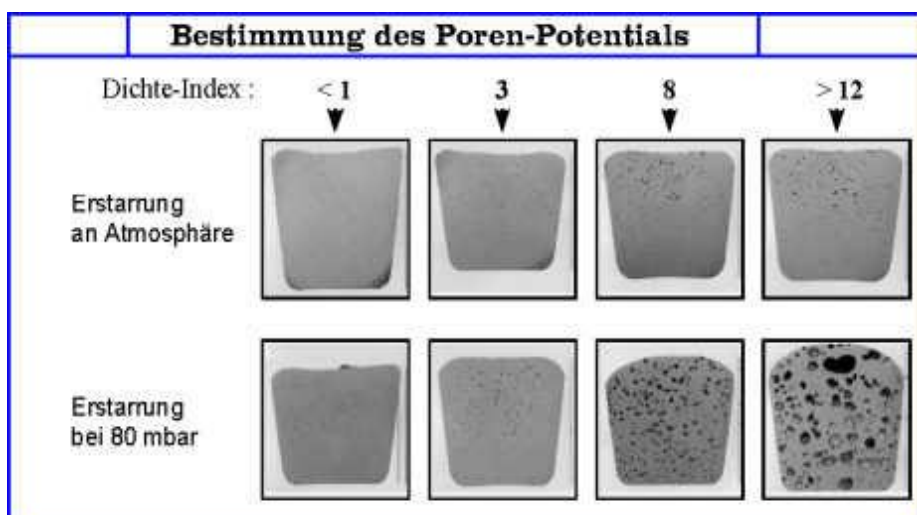
Ze skutečnosti, že v tavenině vždy vzniká příslušný oxid a vodík vyplývá, že pochody odplyňování do určité míry snižujeme také obsah nekovových vměstků v tavenině. Cílem odplyňování není úplné odstranění plynu z taveniny, ale snížení jeho obsahu na kritickou hodnotu, která již vyloučí možnost vzniku bublinatosti odlitků. Při velmi výrazném snížení obsahu plynu se projev v plné míře objemové změny při tuhnutí kovů a slitin, takže důsledkem je existence mikropórovitosti v objemu odlitku a zvýšený výskyt vnějších a vnitřních staženin u odlévaných odlitků.

Je rovněž velmi důležité, aby účinek odplyňování byl také experimentálně prověřen a potvrzen. Tento úkol se řešil mnoha způsoby

a přístroji typu Hycon tester a Aluschmelz tester. Jde o přístroje založené na metodě první bubliny. Definované množství hliníku nebo jeho slitiny je v roztaveném stavu nalito do zkušebního kelímku daného přístroje umístěného v hermeticky uzavřeném prostoru s pozorovacím průhledným víkem z křemenného skla.

Z prostoru je postupně vývěvou odčerpáván vzduch, takže se vytváří vakuum, které umožňuje vyrovnání tlaku plynu rozpuštěného v tavenině s tlakem plynu nad taveninou. Kontinuálně se měří teplota a pokles tlaku. V případě rovnosti obou tlaků se na hladině uvolní první bublina, a pokud se hned po ní objeví další, je nutno na přístroji odečíst hodnoty tlaku a teploty. Tyto hodnoty se dosadí do vztahu pro závislost rozpustnosti na teplotě a tlaku. Přístroje již využívají elektronicky řízený postup měření i registraci naměřených výsledků. Je nutno vzít v úvahu, že zařízení jsou investičně náročná.

V posledních letech se však v technické praxi začaly více uplatňovat přístroje typu ALU SPEED TESTER a zařízení pro rychlé stanovení tzv. indexu hustoty. Toto zařízení umožňuje tuhnutí zkoumaného vzorku při tlacích buď 30, nebo 80 milibarů (mbar), jehož hustota se porovnává s hustotou vzorku tuhnoucího při atmosférickém tlaku. Index hustoty (německy Dichte Index, anglicky Density Index) se vypočítává podle příslušného vztahu.



Obr 3.4 Ukázka určení pórovitosti při atmosférickém tlaku a při 80 mbar. [7]



Zařízení ALU SPEED TESTER je nejnovější generace přístrojů pro analýzu naplynění v hliníku a jeho slitinách. Přístroje nacházejí využití všude tam, kde má být měřen obsah vodíku ve velmi krátkém čase okolo jedné minuty a s minimálními investičními a provozními náklady. Některé slévárny nevypočítávají DI, ale měřítkem je dosažení stanovené hodnoty hustoty pro vyráběný typ slitiny. Operace je prováděna na zařízení viz 3.5.



Obr. 3.5 Přístroj na měření indexu hustoty [4]

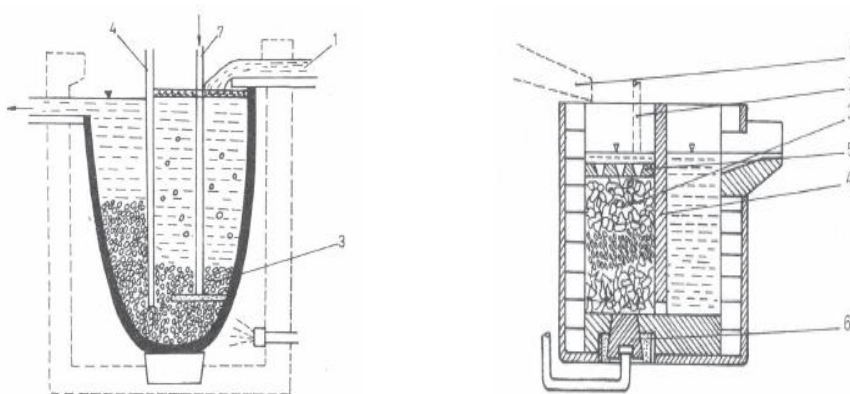
### 3.4 Rafinace taveniny [1]

Pod pojmem rafinace rozumíme čištění taveniny, ošetření pak provedení technologických operací, které mají zajistit co nejvyšší kvalitu roztavené slitiny pro odlévání odlitků i slitků. Velkým problémem je existence oxidů, kovových a nekovových vměstků, přítomnost rozpuštěných plynů, nevhodná forma vyloučení jednotlivých komponentů struktury konečného výrobku.

K pochodům rafinace a ošetření taveniny patří již uvedené odplynění slitiny. Jde zejména o snížení obsahu rozpuštěného vodíku, které se provádí soustavně u všech slitin hliníku.

Při rafinaci v kovohutích, kde se uplatňují více požadavky na kontinuální čištění taveniny při odlévání housek slitiny na licím stroji, se používají více tzv. reaktory. Reaktor v tomto pojetí je zařízení, kterým musí nuceně protékat tavenina, přičemž protéká přes vrstvu roztaveného taviva, dále přes zrnitý filtr tvořený korundovými kuličkami povlečenými

vysokotavitelnými tavivými. Současně je přes tento prostor profukován dusík. Schéma zařízení je zachyceno na obr. 3.6 [1]. Tento reaktor využívá filtraci taveniny přes vrstvu koksu za současného profukování dusíkem přes porézní tvarovku ve dně celého zařízení. Prostory přítoku a odtoku taveniny jsou odděleny vertikální přepážkou se sifonovým uspořádáním, která vymezuje prostor znečištěné a rafinované taveniny.



- 1 – vtok taveniny, 2 – uchycení roštu, 3 – filtr, 4 – přepážka, 5 – keramický rošt, 6 – pórovitá tvarovka, 7 – přívod plynu

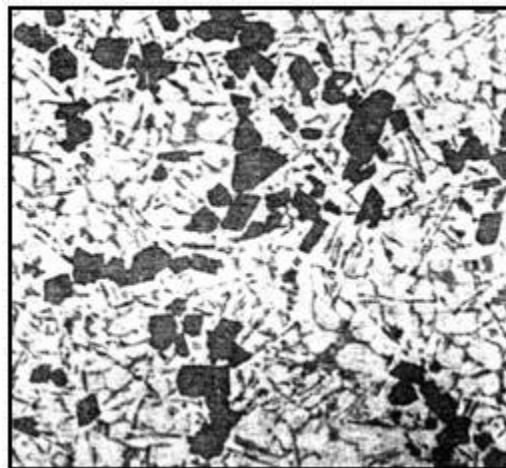
Obr. 3.6 Schéma uspořádání reaktoru pro čištění hliníku a jeho slitin [1]

### 3.5 Očkování a modifikování taveniny [1]

Očkování je metalurgická operace, která spočívá v přidání látek, které zvýší počet heterogenních krystalizačních zárodků v tavenině. Očkování se významně uplatňuje u slévárenských slitin, kde ve struktuře převažuje podíl dendritů nebo krystalů primární fáze nad podílem eutektika. Výsledkem je zjemnění struktury z hrubě zrnité na jemně zrnitou, viz obr. 3.7. K tomu, aby mohla látka působit jako očkovací činidlo, musí splňovat několik předpokladů. Musí zajišťovat malý kontaktní úhel (vysokou smáčivost) mezi zárodkem a rostoucí tuhou fází a musí být v tavenině maximálně stabilní. Přesto se vhodná očkovadla často volí empiricky. Po přidání očkovadla do taveniny je nutná určitá doba, než se získá nejjemnější zrna. Tato doba se nazývá doba kontaktu.



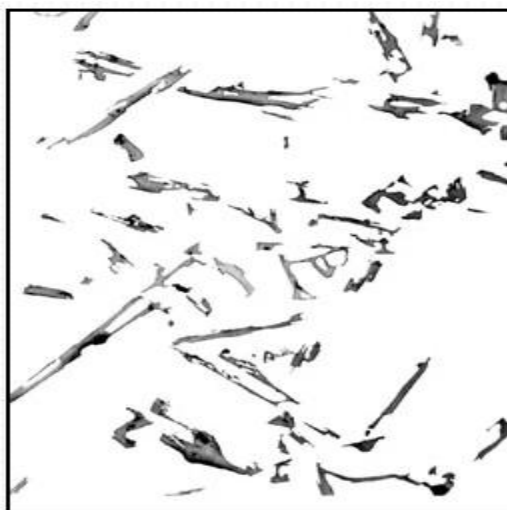
Neočkováno



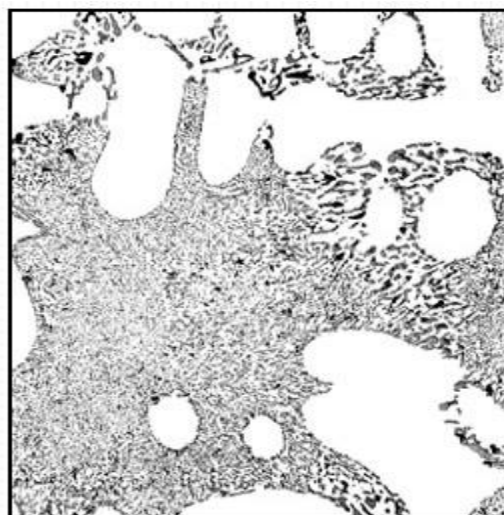
Očkováno

Obr. 3.7 Vliv očkování na strukturu slitiny AlSi17 [3]

Modifikování Al-Si slitin je metalurgická operace, při které dochází z hlediska mechanických vlastností k příznivé změně morfologie eutektického křemíku po přidavku některých prvků. Docílí se významného zvýšení zejména houževnatosti, pevnosti v tahu a tažnosti slitiny. Dochází k převedení zrnité eutektické struktury na strukturu lamelární nebo ještě lépe na jemně vláknitou, viz obr. 3.8 a 3.9.

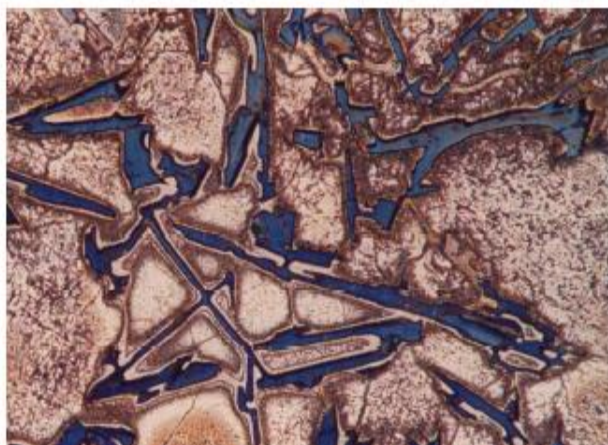


Nemodifikováno



Modifikováno

Obr. 3.8 Vliv modifikování (Na) na strukturu slitiny AlSi10 [3]



Obr. 3.9 Nemodifikovaný eutektický silumin – výrazně modře zbarvené jehlice křemíku, rozložené v tuhém roztoku  $\alpha$ . Zvětšení 500x [6]

Modifikační efekt je založen na faktech, že modifikační činidlo potlačuje nukleaci křemíku na zárodcích ve slitině do jisté míry vždy přítomných, takže růst je zahájen při nižší teplotě. Modifikační činidlo je povrchově aktivní prvek, který se přednostně absorbuje na krystalografických plochách Si, které jsou pro růst krystalů nejvýhodnější. V případě modifikování se tedy na rozdíl od očkování nejedná o změnu počtu zárodků, ale pouze o změnu tvaru a rychlosti růstu krystalů eutektického křemíku. Dosahuje-li se zjemnění struktury využitím vysoké rychlosti ochlazování, hovoří se o tzv. pseudomodifikaci struktury.

Souhrnem lze říci, že cílem přípravy slitin na bázi hliníku je připravit taveninu dané slitiny s chemickým složením v rozmezí předepsaného složení legujících prvků, s dodržením menšího obsahu, než je předepsán u doprovodných nežádoucích prvků a s minimálním obsahem plynů (zejména vodíku). Roztavenou slitinu účinně očkovanou a modifikovanou, která má pochopitelně požadovanou lící teplotou po provedení všech metalurgických operací. Tavenina musí být zbavena v maximální možné míře oxidů, při vlastním odlévání je nutno zajistit zachycení kovových a nekovových vměstků. Teprve po provedení termické analýzy, jejímž cílem je zjištění efektivnosti účinků očkování a modifikace, je roztavená slitina připravena k odlévání odlitků.

## 4. ZPŮSOBY VÝROBY ODLITKŮ ZE SLITIN HLINÍKU [1]

### 4.1 Odlévání do pískových forem

Výroba odlitků do pískových jednorázových forem je nejjednodušší, nejpoužívanější a nejlevnější způsob produkce i tvarově velmi složitých odlitků. Je možno uvést, že jde o klasickou výrobu odlitků, která se uplatňuje při kusové nebo malosériové výrobě. Nutnou podmínkou pro výrobu tvarově složitých odlitků je odlévání roztavených kovů a slitin do slévárenských forem, ve kterých se podle tzv. modelového zařízení vytvoří formováním (pěchováním) dutina, která svým vnějším tvarem přesně odpovídá budoucímu tvaru odlitku. K vytvoření dutin a vnějších vpadlých tvarů na odlitcích se používají jádra vyráběná v jadernících pěchováních nebo zpevněná chemickými, fyzikálními nebo biologickými metodami. Slévárenské formy i jádra se vyhotovují z formovacích směsí, které mohou být přírodního původu (přírodní písky), nebo mohou být tyto směsi připraveny synteticky z jednotlivých komponentů. Každá formovací směs se skládá z ostřiva, pojiva a přísad. Nejčastěji používaným ostřivem formovacích směsí přírodních i syntetických je křemenný písek, jehož převážnou část tvoří oxid křemičitý. Ostřivem mohou být i jiné keramické materiály – korund, magnezit, chrommagnezit, chromit, olivín, některé chemické sloučeniny zirkonia, šamotová drť. U ostřiva je velmi důležitá jeho žáruvzdornost (ostřivo musí odolávat vysokým teplotám roztavených kovů a slitin), velikost zrn (granulometrie) a jeho chemická povaha. Velmi důležitou složkou formovacích směsí jsou pojiva, která mají vytvořit tenkou vrstvu na každém zrně ostřiva. Při zhuštění formovací směsi mechanickými, chemickými, fyzikálními nebo biologickými metodami dochází k vzájemnému styku jednotlivých zrn ostřiva, vytvářejí se pojivové můstky a dochází ke zpevnění (vytvrzení) celého objemu slévárenské formy nebo jádra. Slévárenská forma je vždy dělená, celou formu tvoří spodní rám a vrchní rám. Mezi spodkem a vrškem probíhá tzv. dělicí rovina nebo dělicí plocha. Dělicí rovina nebo plocha může být v nejjednodušším případě pouze jedna, ale u složitých odlitků může být zvoleno více těchto rovin nebo ploch. Slévárenská forma může být vytvořena pomocí formovacích rámců nebo může jít o tzv.



bezrámové formování, kdy se vytvářejí slévárenské formy zcela bez rámů, jejich pevnost umožňuje zachycení metalostatického tlaku při odlévání. Slévárenské formy a jádra se ve slévárnách mohou zhotovovat ručně (ručním pýchováním nebo pneumatickou pýchovačkou), převážně se však formy a jádra vyrábějí strojově na formovacích strojích nebo automatických formovacích linkách.

#### 4.2 Gravitační lití

Gravitační lití do kovových forem patří k poměrně jednoduchým, ale produktivním a progresivním způsobům výroby odlitků ze slitin hliníku. Jak už název této metody říká, využívá se působení gravitace na taveninu. Využívání tohoto způsobu lití má své opodstatnění v několika důvodech. Gravitačním litím lze dosáhnout vysoké hladkosti povrchu odlitku, která je dána nejen hladkostí líce formy, ale také hladkostí vrstvy postříku, který chrání formu a je nositelem konečné hladkosti povrchu odlitku. Lze také docílit vyšší přesnosti odlitků. U této metody se používá stálá forma, kovová jádra (možné i z keramických formovacích směsí – Cold Box, Hot Box). Vyhotovení kovových forem a jader je však technicky i časově náročná práce, která se realizuje v kovomodelárnách a nástrojárnách se špičkovým vybavením. Velkým pozitivem je možnost automatizace komplexního pracoviště. Z ekonomického hlediska se tato metoda využívá při výrobě většího množství odlitků a to zejména kovů s nižší lící teplotou.

Zařízení pro gravitační lití do kovových forem jsou řešeny dvojitým způsobem. V první variantě jde o jednoduchou dělenou kovovou formu umístěnou na vhodném licím stole s úplnou ruční obsluhou. Ve druhé variantě jde o komplexně vybavené pracoviště s jednou udržovací tavicí pecí a dvěma kokilovými licími stroji vybavenými zařízením pro čištění pracovní části formy i jader, pro jejich ošetření postříky a tahači s hydraulickým pohonem pro uzavírání a rozevírání kovové formy a pohyb kovových jader. Dávkování taveniny do formy se děje automaticky pomocí manipulátorů a robotů.



Obr 4.1 Pohled na kokilový licí stroj [1]

#### 4.3 Přesné lití slitin hliníku

Touto metodou lze odlévat odlitky ze všech slitin na bázi železa i slitin neželezných kovů. Odlitky mají velmi nízkou drsnost, v řadě případů srovnatelnou s mechanickým obráběním.

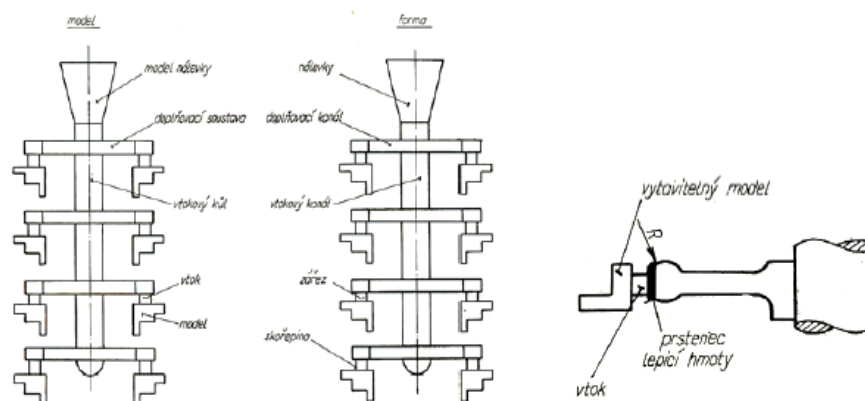
Ve srovnání s výrobou složitých součástí mechanickým obráběním je metoda přesného lití výrazně ekonomičtější, náklady jsou nižší, podmínkou použití metody je velký počet tvarově stejných vyráběných odlitků v jedné nebo opakované sérii. Je rovněž nutno počítat s tím, že metoda je určena především pro výrobu rozměrově i hmotnostně menších odlitků.

Prvním krokem realizace celé metody je vytvoření tzv. mateřského (matečného) modelu, který je navrhován s ohledem na jeho provozní využívání jako strojní součásti. Již při návrhu mateřského modelu je nutno vzít v úvahu všechny objemové změny u všech materiálů, které se v celém výrobním cyklu uplatňují a používají. Mateřský model slouží k výrobě formy pro vytvoření voskového modelu. Je nutno poznamenat, že forma pro vyhotovení voskového modelu se může vytvořit i mechanickým obráběním, nebo se k jejímu zhotovení mohou využít i jiné technologie. Je nutno počítat i s tím, že stejně jako voskové modely vyráběných odlitků je nutno vyrábět i voskové modely prvků vtokové soustavy, případně i nálitkování. Charakteristickým znakem metody je odlévání odlitků ve tvaru tzv. stromečku viz obr. 4.2. Tento stromeček je tvořen centrální vtokovou a nálitkovou soustavou, na kterou jsou upevněny jednotlivé modely budoucích odlitků. Pro rozmístění modelů platí specifické podmínky, jejichž cílem je odlít

maximálního počtu odlitků v jednom stromečku. Vzdálenosti mezi jednotlivými modely musí umožnit vytvoření potřebné tloušťky keramické formy na každém voskovém modelu.

Voskové směsi pro výrobu modelů jsou vždy tvořeny jako vícesložkové. Používají se jednoduché vosky, jako jsou parafin, stearin, ceresin, polyetylén, polyvinylbutylacetal, butadienstyrén, etylcelulóza, polyvinylalkohol. Tvrdosti se dosahuje přidáním montánního vosku, vosku karnaubského i přírodních pryskyřic. K výrobě modelů se používá i močovina.

Výroba voskových modelů se provádí buď gravitačním litím do forem, nejčastěji kovových, nebo na speciálních vstřikovacích strojích konstruovaných přímo pro tyto účely. Velké modely se vstřikují samostatně po jednom kusu, u malých modelů lze vstříknout najednou více modelů.



Obr 4.2 Schematický náčrt uspořádání tzv. stromečku (vlevo) a upevňování modelu na vtokovou soustavu [1]





Obr 4.3 Ukázka hotových odlitků vyrobených metodou přesného lití [1]

#### 4.4 Tlakové lití

Jedním ze způsobů výroby odlitků je tlakové lití. Jde o specifickou metodu vhodnou pro výrobu velkých sérií rozměrově i hmotnostně menších tenkostěnných konstrukčně složitých odlitků, s přesnými rozměry, s velmi hladkými povrchy, především ze slitin neželezných kovů se střední výškou licích teplot.

Tlakové lití (lití pod tlakem) je průmyslová metoda produkce odlitků především pro automobilový, motocyklový a letecký průmysl, ale také pro další průmyslová odvětví, která potřebují velká množství odlitků jednoho druhu, a to hlavně ze slitin hliníku, hořčíku, zinku a případně dalších nízkotavitelných slitin.

Metodu lze využít jen v případě výroby desítek až statisíc kusů jedné položky. Odlitky musí být navrženy v souladu s požadavky dané technologie, výrobním zařízením jsou tavicí pece, udržovací pece pro tavení slitin, a především jde o tlakové stroje, na nichž se výroba odlitků provádí. Součástí slévárny tlakového lití jsou i další zařízení, která umožňují komplexní dokončení úpravy odlitků.

Tlakové licí stroje umožňují upevnění nepohyblivé části formy, pohyb pohyblivé poloviny kovové formy, dokonalé sevření obou částí forem a plnění dutiny formy taveninou s teplotou nižší, než je teplota likvidu dané slitiny vysokým tlakem vyvinutým mechanicky pístem. Charakteristickým znakem dané metody je plnění dutiny formy vysokou rychlostí přes vtokovou soustavu s velmi malými průřezy.

Podmínkou realizace celé metody je nutnost vlastnit průmyslové budovy s jednotlivými typy tlakových strojů různé velikosti, dostatek roztavených slitin, tavených v tavírně - (např. v šachtové peci viz obr.4.4), odkud se tavenina přemísťuje do udržovacích pecí, umístěných blízko tlakových strojů viz obr 4.4 tak, aby taveninu bylo možno do tlakové komory dávkovat ručně, dnes dávkovači nebo roboty. Součástí slévárny jsou i další zařízení – ostřihovací lisy, zařízení pro úpravu povrchu tlakově odlévaných odlitků a jiná zařízení, která tvoří komplexně vybavená centra tlakového lití.



a)



b)

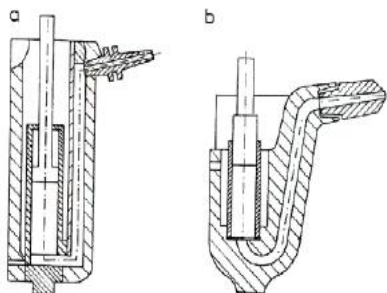
a) Vyprazdňování šachtové pece

b) Udržovací pec u tlakového lícího stroje

Obr 4.4 Šachtová a udržovací pec ve slévárně DGS [4]

Tlakové stroje se vyrábějí buď s tzv. teplou tlakovou komorou, nebo se studenou tlakovou komorou. Stroje s teplou komorou slouží k odlévání kovů a slitin s nízkou teplotou bodu tání nebo nízkou teplotou likvidu u slitin. Jde o odlévání zinku, olova, cínu a jejich slitin, případně hořčíku a jeho slitin. Princip práce tlakového stroje je patrný z obr. 4.5. Charakteristickým rysem těchto strojů je přímé spojení prostoru udržovací pece s tlakovým

mechanismem, který je umístěn v tavenině v udržovací peci. Stroje mohou pracovat plně automaticky, jsou vysoce produktivní.

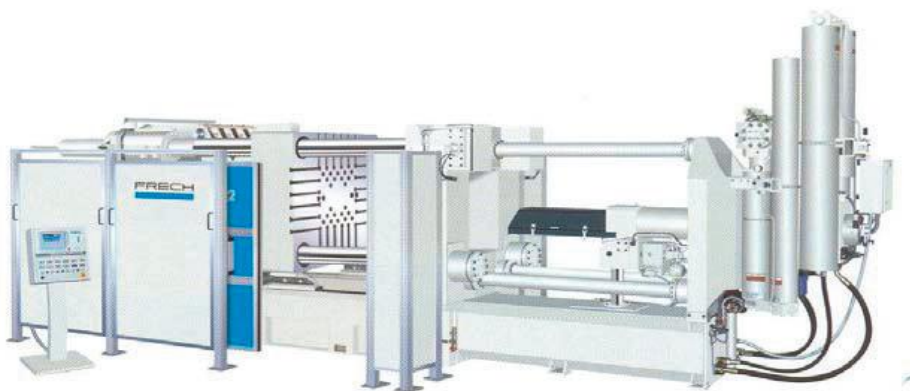


Obr. 4.5 Pracovní vstřikovací tryska tlakového stroje s teplou komorou s rozdílnými odpory proti proudění [1]

Pro odlévání odlitků ze slitin hliníku se používají tlakové stroje se studenou komorou, která může být uspořádána vertikálně nebo horizontálně. Pro představu je na obr. 4.6 zachycen celkový pohled na tlakový stroj se studenou tlakovou komorou.

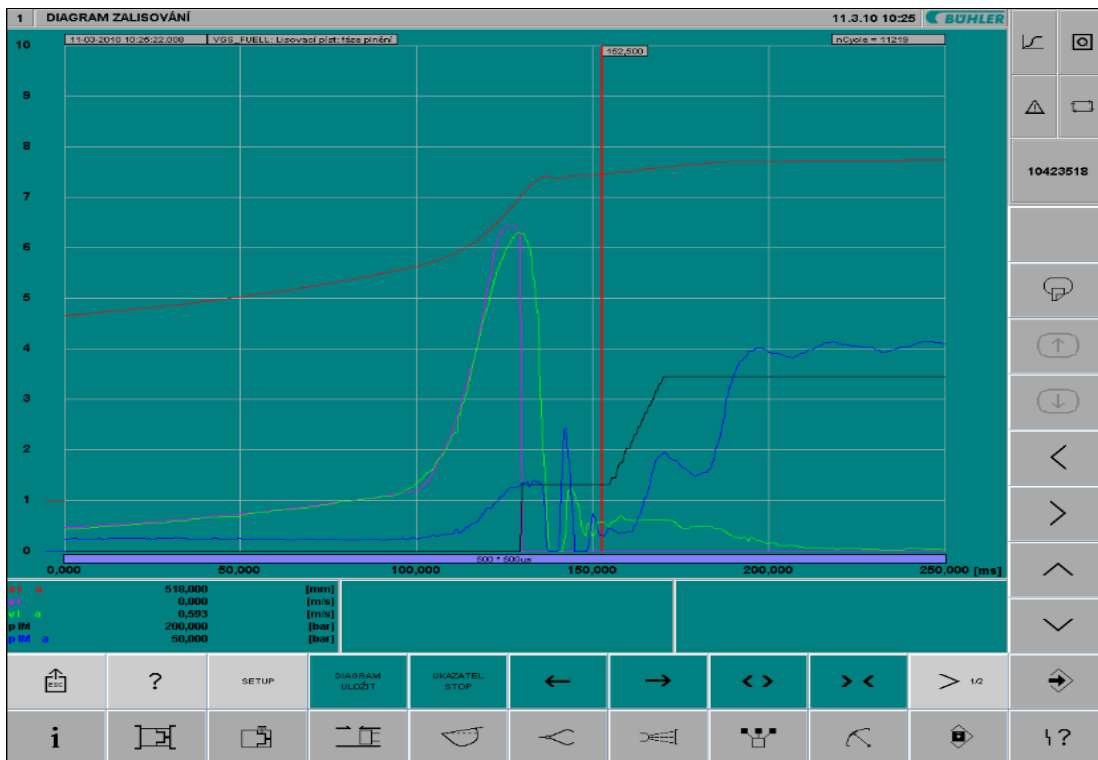
Slévárna tlakového lití je vybavena tlakovými stroji s rozdílnými parametry, aby mohla být realizována výroba odlitků rozdílné hmotnosti a rozměrů. Velmi důležitým parametrem je plocha průřezu odlitku do dělicí roviny formy, která má vertikální polohu.

Stroje jsou odstupňovány podle velikosti uzavírací síly a síly vyvinuté pístem při vlastním odlévání



Obr. 4.6 Celkový pohled na tlakový stroj se studenou tlakovou komorou.[1]

Celý proces lze sledovat na tzv. licí křivce viz obr. 4.7, kde lze jednotlivé parametry taktéž upravovat.



---Dráha pistu

---Reálný průběh rychlosti pistu

---Nastavení rychlosti pistu

---Nastavený tlak kovu (z přepočtených hodnot)

---Reálný tlak kovu v průběhu lisování

Obr. 4.7 Licí křivka [4]

Při výrobě odlitků tlakovým litím jsou vysoké nároky kladeny na formu, protože se pracovní dutina formy plní vysokým tlakem, který zajišťuje vysokou rychlost taveniny v zářezích vtokové soustavy. Materiál musí odolávat fyzikálním, chemickým i mechanickým vlivům taveniny, která proudí rychlostí desítek metrů za vteřinu. Návrh konstrukčního řešení formy se týká jak vlastní pracovní dutiny formy vytvářející odlitek, tak vnějšího povrchu, jehož řešení musí zajistit upevnění obou částí formy na nosiče forem, lokální chlazení nebo ohřev dutiny formy, její čištění, mazání a také její vhodnou přepravu a skladování.

#### 4.5 Nízkotlaké lití

Jedná se o metodu, která ke zhotovení odlitků využívá snížený tlak. Hlavní zvláštností celé metody spočívá v tom, že odlitek musí tuhnout odshora směrem dolů, tuhnutí musí být ukončeno v ústí plnicí trubice, tloušťky stěn odlitku se odshora směrem k plnicí trubici musí zmenšovat, takže dochází k usměrněnému tuhnutí zcela opačným směrem, než je tomu u tuhnutí v gravitačním poli.

Kvalitativně zcela nová etapa využití metody nízkotlakého lití nastala v době, kdy přední světové firmy rozhodly o výrobě automobilových kol, zejména osobních automobilů, ze slitin hliníku. Konstrukční řešení automobilových kol a principy nízkotlakého lití jsou přímo předurčeny k tomu, aby odlitky automobilových kol a metoda NTL vytvořily optimální volbu technologie ve vztahu k vyráběnému typu odlitku. Rotační tvar odlitku a požadavek na vysokou povrchovou kvalitu vnější části namontovaného kola přímo určují polohu odlitku ve formě. Právě tato plocha je umístěna v nejnižší části formy, zde je také provedeno zaústní zářez, osa rotace budoucího odlitku je při odlévání vertikální. Pohled na kovovou formu pro odlévání automobilových kol ze slitin hliníku zachycuje obr. 4.8.



Obr. 4.8 Pohled na kovovou formu pro odlévání automobilových kol ze slitin hliníku nízkotlakým litím [1]

Základem celého zařízení je udržovací pec, která musí být hermeticky uzavíratelná. Do pece se přelévá roztavená slitina, nejčastěji slitiny hliníku, z tavicích agregátů. Tavenina musí být mechanicky očištěna, odplyněna a primární lící struktura ovlivněna očkováním a modifikací. Původně se jako udržovací pece používaly elektrické odporové kelímkové pece s kovovým kelímkem. Kelímek byl uzavřen víkem, obvykle středem víka procházela tzv. plnicí trubice, která byla svým spodním koncem ponořena co nejnižší

v tavenině. Přetlakem vzduchu nad hladinu hermeticky uzavřeného kelímku nebo celé pece je tavenina vytlačována do plnicí trubice a jejím ústím o menším průřezu pak do vlastní dutiny kovové formy.

Kovová forma je složena z pevné a pohyblivé části. Pevná část je umístěna těsně nad pecí, pohyblivá část se pohybuje ve vedení, které tvoří obvykle čtyři vertikální vodící sloupy. Pohyblivá část formy je vybavena tzv. vyhazovači, které uvolní odlitek z pohyblivé části formy. Plnění formy taveninou probíhá pomalým stoupáním hladiny taveniny v plnicí trubici a postupně také v kovové formě. Velmi podstatné je pomalé, klidné plnění formy, bez turbulence a vírů. Při zcela zaplněné dutině formy lze zvýšit tlak v průběhu tuhnutí odlitku a provést tzv. dotlak, který může pozitivně ovlivnit konečnou hustotu vyráběného odlitku. Funkci vtokové soustavy i náliťků přebírá plnicí trubice, takže dochází k velmi podstatnému zvýšení využití tekutého kovu v odlitku. Po uplynutí nastavené doby tuhnutí a chladnutí daného odlitku se přetlak v udržovací peci zruší a hladiny v peci i plnicí trubici se vyrovnají. Celý proces je ukončen a odlitek může být uvolněn z formy.

#### 4.6 Odstředivé lití

Odstředivé lití představuje specifickou metodu výroby odlitků, kdy se při plnění formy taveninou i tuhnutí využívá odstředivá síla vznikající při intenzivní rotaci formy. Působení odstředivé síly zajišťuje dobrou kvalitu povrchu odlitku, vysokou hustotu a vysoké hodnoty mechanických vlastností zejména odlitků rotačního tvaru.

V odborné praxi rozlišujeme pravé odstředivé lití a nepravé odstředivé lití (také odstředování). Při pravém odstředivém lití odpovídá vnější tvar polotovaru nebo výrobku vnitřnímu tvaru formy, která se může otáčet kolem vertikální nebo horizontální osy rotace, existují i zařízení se šikmou nebo s plynule se měnící osou rotace mezi oběma směry (výroba hutnických válců, plné a duté rotační válce, polotovary pro kluzná ložiska, prstence pro klece valivých ložisek, vylévání pouzder pro kluzná ložiska).

Při nepravém odstředivém lití se odstředivá síla využívá na plnění dutin jednotlivých odlitků napojených v jedné nebo více vrstvách na společném vertikálním vtokovém kanálu (odstředivé lití přesných odlitků,



odlévání zubních protéz a můstků, odlévání odlitků z titanu a jeho slitin).

Zařízení pro odstředivé lití jsou konstruována pro odlévání s horizontální nebo vertikální osou rotace. Prstence a polotovary s velkým průměrem a malou výškou se odlévají na strojích s vertikální osou rotace (vnitřní povrch polotovaru má tvar rotujícího paraboloidu), dlouhé duté polotovary s menšími průměry (roury, pouzdra) je vhodné odlévat na zařízeních s horizontální osou rotace. Délka musí být větší než čtyřnásobek průměru.

U odstředivého lití je nejvýznamnějším parametrem počet otáček formy za minutu ve vztahu k vnějšímu poloměru polotovaru. Platí, že počet otáček formy je nepřímo úměrný druhé odmocnině z poloměru odlévaného polotovaru.

## 5. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ SLITIN HLINÍKU

### 5.1 Charakteristika tepelného zpracování [1], [2]

Tepelným zpracováním hliníkových slitin rozumíme několik způsobů zpracování, které se provádějí buď pro zvýšení mechanických vlastností (vytvrzování), ale také pro dosažení měkkého stavu nebo některých jiných vlastností materiálu.

Mezi tepelným zpracováním slitin pro tváření a slitin pro odlévání není zásadní rozdíl, a proto jsou, až na výjimky, všechny způsoby zahrnuty do jednoho celku. Tepelné zpracování Al a jeho slitin můžeme rozdělit do dvou základních skupin.

#### 5.1.1 Žihání [1]

U hliníku a jeho slitin se aplikuje celá řada způsobů žihání. Jedním z těchto způsobů je tzv. **Rekrystalizační žihání**, což je způsob tepelného zpracování za studena tvářeného kovu, přičemž dochází z původně deformované struktury ke vzniku nové rekrystalizované struktury. Rekrystalizačním žiháním se mění také vlastnosti. Snižují se pevnostní a zvyšují se plastické vlastnosti původně deformovaného materiálu. V praxi se nejběžněji aplikují teploty v rozmezí 250 – 500 °C. Použitá teplota závisí

především na velikosti předcházející deformace za studena (s rostoucí deformací klesá teplota rekrystalizace a velikost zrn) a na čistotě hliníku, resp. chemickém složení slitiny.

Dalším z používaných způsobů, zejména u odlitků je tzv. **Stabilizační žíhání**, kterým získáváme stabilizaci struktury, mechanických, fyzikálních, chemických vlastností a rozměrů výrobku. Tento způsob tepelného zpracování se užívá většinou v případě, kdy slitina má v provozu pracovat za určité zvýšené teploty, nebo když během provozu dochází k ohřevu, např. třením. Teplota stabilizačního žíhání proto leží výše, než je maximální předpokládaná teplota dosažená při provozních podmínkách materiálu, a bývá obvykle v rozsahu 240 – 350 °C. Jednou z používaných metod je i **žíhání ke snížení vnitřního pnutí**, které představuje tepelné zpracování pod rekrystalizační teplotou, s výdrží na této teplotě s následujícím řízeným ochlazováním. Teplota žíhání se volí obvykle v rozsahu 300 – 400 °C. Řízené ochlazování je nejméně do teploty 200 °C. Využít lze také tzv. **Homogenizační žíhání**, neboli homogenizace, což je tepelné zpracování při vysoké teplotě (blízké solidu) za účelem odstranění nebo snížení chemické heterogenity difúzními procesy. **Dvojstupňová homogenizace** je způsob homogenizace spočívající v aplikaci dvou po sobě následujících různých teplot za účelem odstranění nebo snížení chemické heterogenity difúzními procesy. Délka doby žíhání záleží především na chemickém složení slitiny a její struktuře a jde z časového hlediska o nejdelší tepelné zpracování v celém procesu výroby.

### 5.1.2 Vytvrzování [2]

Vytvrzováním se zvětšuje pevnost a tvrdost hliníkových slitin, ovšem jen takových, které jsou vhodné k vytvrzování. Aby slitina byla schopna vytvrzování, musí obsahovat legující prvky, které tvoří s hliníkem při vyšších teplotách tuhý roztok s omezenou rozpustností, ale vylučují se z něho při nižších teplotách, kdy se jejich rozpustnost snižuje. Druhou podmínkou je, aby prudkým ochlazením vznikl přesycený tuhý roztok. Přísadové prvky, které dávají hliníkovým slitinám vytvrzování jsou hlavně Cu, Ni, Mg, Zn a Si, a to obvykle v různé vzájemné kombinaci (Al – Cu – Mg, Al – Zn – Mg, ...). Vytvrzování se skládá ze dvou technologických úkonů, které na sebe





navazují a vzájemně souvisí do té míry, že každé dílčí provedení ovlivňuje konečný výsledek. Prvním krokem je **Rozpouštěcí žíhání**, při kterém dojde k ohřevu na vhodnou rozpouštěcí teplotu, výdrž na této teplotě po dobu nutnou k převedení jedné nebo více intermetalických fází do tuhého roztoku (např.  $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ) a následující rychlé ochlazení kritickou nebo nadkritickou rychlostí k získání přesyceného tuhého roztoku. Kritická rychlost ochlazování je nejmenší rychlost ochlazování z rozpouštěcí teploty, při které nenastává rozpad přesyceného tuhého roztoku. Po té následuje tzv. **stárnutí**, což je proces při kterém dochází ke změně substruktury a v důsledku toho i ke změně mechanických, fyzikálních i technologických vlastností. Může se realizovat buď za pokojové teploty (přirozené stárnutí), nebo za zvýšených teplot (umělé stárnutí). Někdy se z technologických důvodů realizuje stupňovité stárnutí, což je proces tepelného zpracování po rozpouštěcím žíhání uskutečněný při dvou nebo více teplotách, které se zvyšují během tohoto žíhacího cyklu.

## 6. PŘEHLED VYRÁBĚNÝCH ODLITKŮ V ČR

V České republice nalezneme hned několik sléváren, které se zabývají litím hliníku a jeho slitin. Proto i skladba těchto odlitků je velmi široká. V neposlední řadě je také jedním z důvodů poměrně rozmanité využití odlitků ze slitin hliníku v praxi. Pokusil jsem se udělat, alespoň malý přehled odlitků ze slitin hliníku, jejichž výrobu můžeme nalézt v České republice.

### 1. Víka ložiskových reduktorů

Technologie:	gravitační lití
Materiál:	AlSi7Mg0,3
Požadavky zákazníka:	vysoká houževnatost, těsnost



a)



b)

a) odlitek po obrobení

b) využití odlitku v praxi

Obr. 6.1 Víka ložiskových reduktorů [8]

### 2. Ruční kolečka pro ovládání obráběcích strojů

Technologie:	gravitační a tlakové lití
Materiál:	AlSi12Cu1, AlSi12Cu1 (Fe)
Požadavky zákazníka:	kvalita povrchu (obrobení na vysoký lesk)



Obr.6.2 Ruční kolečka pro ovládání obráběcích strojů po obrobení [8]

### 3. Tělesa, držadla, krytky ručních nástrojů (pneu vrtačky, šroubováky...)

Technologie: gravitační a tlakové lití

Materiál: AlSi10Mg

Požadavky zákazníka: vyšší houževnatost ( snášet vibrace a rázy)  
odolnost proti otěru ( vyšší tvrdost )



a)



b)

a) držadlo ručních nástrojů po obrobení

b) využití odlitku v praxi

Obr. 6.3 Držadla ručních nástrojů (pneu vrtačky, pneu šroubováky...) [8]

### 4. Ostatní



Obr. 6.4 Hlava válce motoru kompresoru (gravitační lití, AlSi10Mg) [8]



Obr. 6.5 Těleso větráku (tlakové lití, AlSi12Cu(Fe) [8]



Obr. 6.6 koleno potrubí sání - Audi (gravitační, AlSi10Mg) [8]

## 7. DISKUSE POZNATKŮ

Z výše uvedeného vyplývá, že slévárenské slitiny hliníku mají v současné době široké uplatnění při výrobě nejrůznějších odlitků, především v automobilovém průmyslu, což lze považovat za velmi pozitivní. Avšak na druhou stranu slitiny hliníku vykazují i negativní stránky pro své použití v technické praxi, resp. při výrobě odlitků. Slitiny hliníku značně oxidují za vzniku  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (korund, který je nekovového charakteru a jeho teplota tání činí  $2050^\circ\text{C}$ ). Dalším negativním faktorem jsou tepelné vlastnosti hliníku a jeho slitin s ohledem na jejich tavení. V následné části práce, pouze pro informaci jsem se pokusil o výpočet tepla, které je potřebné k roztavení 1 kg čistého hliníku. Toto množství porovnávám s množstvím tepla, které je potřebné k roztavení 1 kg litiny s lupínkovým grafitem. Litina s lupínkovým grafitem má teplotu tání cca  $1147^\circ\text{C}$  a čistý hliník pouze  $660^\circ\text{C}$ .

Výpočet množství tepla na roztavení 1kg čistého hliníku a litiny lze provést na základě vztahu:

$$Q = m \times [C_L \times (T_l - T_{kr}) + L_{KR} + C_S \times (T_{kr} - T_{ok})]$$

kde značí:  $Q$  - množství tepla potřebného k roztavení 1kg čistého hliníku [J];

$m$  - hmotnost taveného materiálu [kg];

$C_L$  – měrnou tepelnou kapacitu v kapalném stavu [ $\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ];

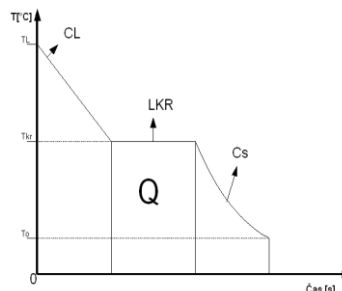
$C_S$  – měrnou tepelnou kapacitu v tuhém stavu [ $\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$L_{KR}$  – latentní teplo tavení [ $\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ]

$T_l$  – teplotu lití [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_{kr}$  – teplotu krystalizace [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_{ok}$  – teplotu okolí [ $^\circ\text{C}$ ]



**a)** hodnoty pro čistý hliník

$$m = 1 \text{ [kg]}$$

$$c_L = 1289,5 \text{ [J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

$$c_S = 1289,5 \text{ [J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

$$LKR = 397\,163 \text{ [J} \cdot \text{Kg}^{-1}\text{]}$$

$$T_I = 720 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{kr} = 660 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{ok} = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$Q = 1 \times [1289,5 \times (720 - 660) + 397163 + 1289,5 \times (660 - 20)] = 1047973,5 \text{ J}$$

**b)** hodnoty pro litinu s lupínkovým grafitem

$$m = 1 \text{ [kg]}$$

$$C_L = 729,0 \text{ [J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

$$C_S = 544,2 \text{ [J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

$$LKR = 299\,200 \text{ [J} \cdot \text{Kg}^{-1}\text{]}$$

$$T_I = 1300 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{kr} = 1147 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{ok} = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$Q = 1 \times [729 \times (1300 - 1147) + 299200 + 544,2 \times (1147 - 20)] = 1024050,4 \text{ J}$$

Z tohoto srovnatelného výpočtu je zřejmé, že ačkoli teplota lití a teplota krystalizace obou materiálů je výrazně jiná, tak výsledné teplo, které potřebujeme pro roztavení jednoho kilogramu je velmi podobné, přičemž teplo potřebné pro roztavení jednoho kilogramu čistého hliníku je dokonce vyšší.

Úkolem mé bakalářské práce bylo se zaměřit na výrobu odlitků z tohoto stříbrně zbarveného kovu. Je patrné, že celá výroba nezačíná okamžikem, kdy se roztavený kov ručně vlije či strojově vstříkne do připravené formy, nýbrž přípravou samotného materiálu. Výsledná kvalita konečného odlitku je ovlivněna již prvotní tavbou použité slitiny přes procesy, jakými jsou např. odplyňování, rafinace či očkování a modifikování taveniny.

Po té je nutné technologicky správně zvolit příslušnou metodu výroby odlitků. Jak je uvedeno v kapitole 4. možností je několik. V této části práce



jsou popsány zřejmě nejznámější a nejpoužívanější metody lití, a to především dnes hojně využívané tlakové lití. Globální modernizace všech postupů se podepsala i na tomto průmyslu, a proto je v současnosti mnoho nových technologií, jakými jsou např. Thixotropní lití nebo tzv. Squeeze casting. Ovšem věnování se této skupině „moderních“ metod by vystačilo na samostatné zadání bakalářské práce. Přesto je možno konstatovat, že tyto metody jsou velmi aktuální a lze předpokládat, že v budoucnu budou u nás také hojně využívány pro výrobu kvalitních konstrukčních dílů ze slitin hliníku.

## 8. ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce byla zpracována na téma: „Výroba odlitků ze slitin hliníku“. Práce je rešeršního charakteru a byla vypracována nejen na základě získaných poznatků prostudovaných literárních podkladů, ale také na základě návštěvy různých sléváren slitin hliníku.

Z výše uvedeného komplexního pohledu vyplývá, že hliník není kovem naprosto ideálním pro výrobu odlitků, avšak převládají vlastnosti, které jsou pro výrobu odlitků ze slitin hliníku příznivé. Mezi tyto vlastnosti patří v této práci již mnohokrát zmíněná jeho nízká hustota, pro kterou má značné uplatnění v automobilovém průmyslu. Oproti tomu ony tzv. nepříznivé vlastnosti se snažíme eliminovat či úplně odstranit výše uvedenými operacemi, jakými jsou např. rafinace, modifikace či očkování taveniny.

Jak už bylo v úvodu naznačeno, tak především díky vhodným kombinacím jeho mechanických, fyzikálních, (např. tepelná vodivost), chemických, (např. odolnost vůči korozi – díky vzniku ochranné vrstvy  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a technologických vlastností se tento materiál objevuje téměř ve všech oblastech lidské činnosti, a to v dopravě, stavebnictví, strojírenském a elektrotechnickém průmyslu, chemickém a potravinářském průmyslu a mnoho dalších. Je nutno ovšem připomenout a zdůraznit jeho energeticky velmi náročnou výrobu, od které je odvinut počátek a celkový průběh průmyslového využití tohoto materiálu.

Díličí poznatky, které je možno při výrobě odlitků ze slitin hliníku aplikovat:

1. Věnovat značnou pozornost metalurgické přípravě taveniny ze slitin hliníku, tavit v plynových pecích s bočním odtahem, před odléváním rafinovat, odplynit, popř. očkovat a modifikovat, věnovat kontrolu i chemickému složení slitiny.
2. Volba vhodné technologie, tj. s ohledem na účel odlitku, počet kusů, popř. následné tepelné zpracování.
3. Dodržování technologického postupu při výrobě konkrétních odlitků.
4. Slitiny hliníku mají široké uplatnění při výrobě odlitků, vyrábí se značná škála odlitků v různých typech slévárenských forem. Např.

## 9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1]..... Michna, Š., Lukáč, I., Očenášek, V., aj. *Encyklopedie hliníku*. Prešov : Adin s.r.o., 2005. ISBN 80-89041-88-4.
- [2]..... Chvojka, J., Brzobohatý, M. *Zpracování a použití hliníku a jeho slitin*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury a Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry 1961
- [3]..... Studijní podklady Vysoké školy chemicko – technologické v Praze.: březen 2010. [http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_tepelne\\_zprac\\_hlin\\_sl/index.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_tepelne_zprac_hlin_sl/index.htm)
- [4]..... Vlastní fotografie
- [5]..... Přednášky a texty. březen 2010:  
[http://www.benjamin.ic.cz/hlinik\\_slitiny.pdf](http://www.benjamin.ic.cz/hlinik_slitiny.pdf)
- [6]..... Michna, Š. Výukové materiály Univerzity J.E.P. březen 2010:  
<http://www.stefanmichna.com/download/technickematerialy>
- [7]..... Technické podklady firmy IDECO Gmbh. březen 2010:  
<http://idecogmbh.de>
- [8]..... Technické podklady poskytnuté firmou Slévárna hliníku s.r.o.,  
Nový Bor





### **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnou-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které na vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 28.5.2010

Podpis:



### **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I use inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expense invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Datum: 28.5.2010

Signature: